

## Unidad de Políticas Comparadas (CSIC)

Documento 01-09

# Indicadores relacionales y redes sociales en el estudio de los efectos de las políticas de ciencia y tecnología

Luis Sanz Menéndez

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Unidad de Políticas Comparadas, SPRITTE  
(Spanish Policy Research in Innovation & Technology, Training & Education)

[lsanz@iesam.csic.es](mailto:lsanz@iesam.csic.es)

Noviembre de 2001

# Indicadores relacionales y redes sociales en el estudio de los efectos de las políticas de ciencia y tecnología<sup>1</sup>

Luis Sanz Menéndez

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Unidad de Políticas Comparadas, SPRITTE  
(Spanish Policy Research in Innovation & Technology, Training & Education)

[lsanz@iesam.csic.es](mailto:lsanz@iesam.csic.es)

## Resumen

Un sistema de innovación eficiente es un sistema con fuerte capacidad de distribución de información y conocimiento. El objetivo de este trabajo es analizar las redes de colaboración que emergen de los proyectos europeos de I+D, tomando el caso del programa TSER. Se utiliza el análisis estructural y de redes desarrollado por los estudios sociológicos, para complementar aproximaciones más tradicionales basadas en principios distributivos. Se utiliza el análisis de redes con el objetivo de medir la densidad y cohesión de las redes, sus propiedades emergentes, así como la posición de centralidad de los actores en la red que el programa de I+D contribuye a crear y, por tanto, a medir la capacidad distributiva de información y conocimiento de las mismas.

## 1. Introducción

Los responsables de las políticas de ciencia y tecnología se enfrentan a decisiones, sobre la asignación de los recursos para la I+D, que exigen un conocimiento riguroso de los sistemas de investigación e innovación y de los efectos que las políticas generan sobre ellos. Sin embargo, observamos que, con más frecuencia de la deseada, esos decisores y responsables públicos apenas cuentan con herramientas para ese análisis.

Los gobiernos han venido desarrollando tradicionalmente políticas de apoyo, cuyo modelo general es la financiación de proyectos de I+D, bien sea a investigadores, empresas o de colaboración entre ambos. Los objetivos generales de estas ayudas eran resolver las deficiencias, que la teoría económica predice (Arrow, 1962), en la asignación de recursos privados para la investigación y la potenciación de las capacidades de producción de conocimiento de los actores del sistema.

Sin embargo, recientemente, se ha llamado la atención sobre el hecho de que la innovación, como todo producto del desarrollo de conocimiento, es el resultado de un proceso de interacción entre un conjunto de actores que

---

<sup>1</sup> Una versión de este trabajo fue presentada en el "II Taller de obtención de indicadores bibliométricos y de actividad científica, organizado por el CINDOC-CSIC y la RICYT, en Madrid, del 1 a 3 marzo 2000. El autor agradece los comentarios y críticas realizados desde la audiencia, la financiación recibida de la RICYT, a través del III Plan Nacional de I+D, y de la Comisión Europea, IV Programa Marco de I+D, y la ayuda inicial de Remo Fernández. Otro trabajo anterior, Sanz Menéndez, Fernández y García (1999) recoge también algunos de los argumentos aquí presentados.

forman parte de ese sistema de I+D y de innovación. Incluso se ha elaborado una teoría de los sistemas de innovación para dar cuenta de estas realidades (Lundvall, 1992; Edquist, 1997).

Así pues, desde el punto de vista gubernamental, lo que debería importar no es tanto que la financiación pueda producir efectos sobre los grupos de investigación o empresas considerados individualmente, sino que produzca los mayores efectos posibles sobre el conjunto del sistema. Lo que interesa fundamentalmente a los gobiernos, pues, son los efectos sistémicos de sus intervenciones sobre el sistema de innovación, además del interés sobre los tradicionales efectos distributivos de las políticas entre los diversos actores.

Hoy existe un nuevo consenso sobre la relevancia de la colaboración en la I+D para las políticas tecnológicas (EC, 1995; OECD, 1996 y 1997) y esto es debido a que las redes son el espacio en el que se generan, intercambian y utilizan los conocimientos que conducen a la innovación. La creciente relevancia, en el contexto europeo, de los instrumentos de política tecnológica y de innovación basados en la colaboración, tales como el Programa Marco de I+D o EUREKA (Peterson y Sharp, 1998), son ejemplos prácticos de las nuevas estrategias basadas en la colaboración entre empresas, o entre éstas y centros académicos de investigación.

Esta percepción ha reforzado el interés por prácticas tradicionales, en sus orígenes resultado de políticas de cooperación internacional, que ganan actualidad en diversos países y especialmente en el contexto de la cooperación científica y técnica que se produce en la Unión Europea. Esas modalidades de intervención que se han financiado con fondos comunitarios han promovido las actividades tendentes a reforzar la cooperación entre actores de diferentes países por definición, pero también de diversos tipos (empresas, universidades, centros de investigación, etc.).

Este trabajo pretende, de modo parcial, explorar y presentar una aproximación que desarrolle unos indicadores, referidos a la actividad científico tecnológica, con la idea de servir sobre todo al conocimiento de los efectos que producen las políticas públicas, específicamente las acciones de financiación de la cooperación entre actores del sistema de I+D.

Para ello se va aplicará el análisis de redes sociales (*social network analysis*) al estudio de las estructuras sociales y relacionales que las políticas de I+D financiadas crean entre los actores participantes. Se trata, en lo fundamental, de presentar una nueva forma de análisis de los datos que habitualmente se generan en los procesos de gestión de programas de I+D. Potencialmente este análisis, que nos permite analizar con claridad las estructuras que los mecanismos de incentivos y financiación crean, puede significar modificaciones en las herramientas para la toma de decisiones por parte de los gestores de los programas de I+D y de los responsables de la asignación de recursos.

Para ilustrar las posibilidades de nuestro análisis, aquí se utilizan los datos procedentes de un programa de I+D financiado por la Unión Europea, dentro de los denominados Programas Marco de I+D, y se observan los efectos que producen en los actores participantes y en el sistema. Este tipo de programas, dado su carácter multilateral, tiene siempre, por obligación normativa, una

naturaleza cooperativa, pero las herramientas y los indicadores son aplicables a cualquier otro programa de I+D, especialmente si es de fomento de la colaboración.

El objeto concreto de este trabajo es el estudio de las redes interorganizativas dedicadas al desarrollo y/o ejecución de la investigación subvencionada. Las preguntas que se plantean al abordar este análisis en términos de las redes que emergen en el desarrollo conjunto de proyectos de investigación europeos son las siguientes: ¿Cuál es la posición de los actores en la red?, ¿Cuáles son los grupos que pueden identificarse?

Este trabajo utiliza métodos relacionales para dar cuenta de las estructuras que emergen de la colaboración. Para ello se utilizan datos de los programas de I+D a través de la aplicación del análisis estructural y de redes (*network analysis*)<sup>2</sup>, el cual tiene su fundamento en la teoría de grafos que se ha desarrollado en los últimos decenios, fundamentalmente, en sociología y en el estudio de las formas organizativas. Esta herramienta tiene la ventaja de que permite tender puentes, de forma operativa, entre diversas disciplinas (DeBresson y Amesse, 1991). Por otro lado, el uso de este método, aunque se ha aplicado al estudio de muchas estructuras relacionales, no se ha generalizado en el análisis de las redes que emergen de la colaboración en la I+D (Sanz Menéndez, Fernández y García, 1999).

Así expuestos los objetivos de este trabajo son modestos, se pretende demostrar la utilidad de una metodología, el análisis estructural y de redes, aplicada a la comprensión y caracterización de la cooperación subsidiada en I+D. Este análisis viene realizándose hasta la fecha a través de indicadores simples y con herramientas tradicionales, tales como el número de proyectos totales, la razón de proyectos con participación de tal o cual país, el número de coordinadores o la proporción de retorno en términos financieros (véase CDTI, 1998; CICYT, 1998).

Frente a ello, como se verá, el análisis de redes sociales permite profundizar en el estudio de las estructuras sociales que subyacen a los flujos de conocimiento e información. La relativa novedad de la aplicación del análisis de redes sociales a la colaboración en I+D, así como la dificultad terminológica inevitablemente ligada a este análisis, hace que también debemos explicar de forma más detallada cómo se construyen estas redes o grafos, así como algunos conceptos necesarios para la comprensión del análisis, todo ellos antes de presentar algunas de las aplicaciones del análisis de redes sociales.

La idea de este artículo es analizar las formas en que esas organizaciones se conectan para, así, determinar la estructura general de la red, sus grupos y la posición de las organizaciones singulares en la misma. Hoy se reconoce que las redes, o las interacciones entre los actores, son decisivas para la innovación, sin embargo, la medición y descripción de las propiedades y de los efectos de estas redes se encuentra aún poco desarrollada. Es precisamente

---

<sup>2</sup> Para una introducción al análisis de redes pueden utilizarse los trabajos de Berkowitz (1982), Knoke y Kuklinski (1982), Scott (1991), o Wasserman y Faust (1994). En castellano existe un manual divulgativo (Rodríguez, 1995), aunque algo confuso, que es un resumen de los de Knoke y Kuklinski y de Scott.

en este terreno donde se sitúa este trabajo, que se centrará en el análisis de la colaboración interorganizativa en la I+D, especialmente la que surge en el contexto de proyectos de investigación subsidiados de naturaleza pre-competitiva, en el marco de un programas de I+D de la Unión Europea.

## **2. Las actividades de investigación, desarrollo e innovación como sistemas de interacciones y las políticas que las sostienen**

La producción de conocimiento a través de la I+D y la innovación tecnológica son el resultado de procesos complejos de interacción entre los actores del sistema. Es la interacción, intercambio y colaboración entre los actores la que hace posible la multiplicación del conocimiento. De hecho, el conocimiento y la propia innovación tecnológica se presentan no tanto como el esfuerzo aislado de un conjunto heroico de individuos, los inventores, sino como del resultado de procesos complejos de interacción entre diversos actores del sistema. Así pues, las actividades de investigación, desarrollo e innovación no deberían estudiarse solamente a través de los actores individuales, sino también como un conjunto de interacciones entre esos actores.

La teoría económica ha señalado la importancia de los aspectos colectivos y/o sistémicos en la producción de nuevos conocimientos. Por ejemplo, se insiste en la relevancia de las *externalidades* (Geroski, 1995; Mohnen, 1996) o de las estructuras institucionales -*sistemas de innovación*- que condicionan, limitan o potencian las posibilidades de innovación (Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson 1993; Edquist, 1997).

La producción de conocimiento y la innovación tecnológica en general se presentan como el resultado de las interacciones entre los actores del sistema, incluyendo las relaciones de empresas entre empresas si, como las que éstas mantienen con otros actores públicos y privados, y las que éstos mantienen entre sí.

En este contexto, en el cual se acepta que la innovación es el resultado de interacciones entre actores del sistema, emerge con fuerza la idea de que un sistema eficiente de innovación es aquel que dispone de una arquitectura con “poder de distribución de información y conocimiento tecnológico” (David y Foray, 1995). Además desde hace más de un decenio los estudiosos han intentado analizar las características de las redes que emergen como resultado de esta cooperación en I+D (Hagedoorn, 1990; Freeman, 1991).

Los programas de I+D contribuyen a la financiación de las actividades de I+D, pero a su vez producen efectos de estructuración del sistema de relaciones entre los actores de la I+D, esto es facilitan la dependencia de los recursos comunes y, por tanto, proveen de una base material a la colaboración que tiene efectos estructurantes.

El fomento de la I+D cooperativa se ha convertido en un tema central de las políticas científicas y tecnológicas. Este creciente interés responde, básicamente, a dos razones. En primer lugar, al intento por mejorar la eficiencia

del sistema de ciencia y tecnología en su conjunto, de tal manera que el fomento de redes interorganizativas facilita la distribución de conocimientos e innovación e incrementa las capacidades de absorción de los distintos agentes. Y, en segundo lugar, porque la promoción de la cooperación en materia de I+D tiene para los gobiernos una relación coste/beneficio muy favorable.

Los gobiernos hoy en día no se preocupan tanto por incentivar las inversiones individuales en materia de I+D como, sobre todo, por mejorar la eficiencia del conjunto del sistema ciencia-tecnología-industria. De hecho, una nueva generación de instrumentos de política parece desarrollarse en la que, en lugar de concentrar la acción de los gobiernos en incentivar la investigación con el objetivo de solucionar los fallos del mercado, se llama la atención sobre la necesidad de “solventar los fallos sistémicos” (Malerba, 1996 o Smith, 1997). Con esta nueva fundamentación los gobiernos se convierten en facilitadores o coordinadores (Schienstock, 1994) y, en este contexto, el énfasis en la colaboración en la I+D es parte de las estrategias para facilitar que empresas e instituciones implicadas en la innovación puedan coordinar sus actividades.

Los investigadores y empresas financiados por las políticas de I+D crean un marco de dependencia de los recursos que se convierte en el condicionante material por el cual la financiación pública contribuye a producir “efectos estructurales”, esto es, efectos de ordenación y jerarquización de las relaciones entre los actores de la I+D en el conjunto del sistema.

Esta cooperación es no solamente el marco de la producción conjunta de conocimiento, sino que también puede ser el contexto de la transferencia de información o tecnologías, del aprendizaje mutuo, etc. Así pues, la producción de conocimiento, a través del desarrollo de proyectos de I+D, puede verse como un proceso colectivo en el que diversos actores entran en relación, relaciones estructuradas y estables, que sirven al intercambio del conocimiento y al aprendizaje común, pero no se puede olvidar que la distribución de recursos y relaciones de los actores entre sí y dentro del sistema sirve para jerarquizarlos en grupos de posiciones, cuyos mapas con jerarquías y posiciones de poder debe conocer el decisor o responsable de las políticas.

Este entramado de relaciones puede verse, como una “red” o un conjunto de redes que se superponen y cuyas dependencias pueden formalizarse. La posición de los actores en esa red de relaciones es un elemento central para pensar las oportunidades que los mismos tienen de recibir o de transmitir flujos de conocimiento al resto de los actores del sistema. Ya se ha dicho que la teoría de la innovación señala que un sistema eficiente de I+D e innovación es no tanto el que tiene una capacidades o recursos ilimitados, sino aquel que cuenta con unas extraordinarias capacidades de distribución y absorción de la información y del conocimiento. Pues bien, las interacciones entre los actores crean sistemas de redes relacionales que pueden estudiarse de modo sistemático.

Formas y diseños alternativos de esas estructuras y de los tipos de redes generadas con el concurso de los fondos públicos ofrecen propiedades diversas, nos dan distintas capacidades de distribución y absorción de conocimientos. Así pues, es de interés el desarrollo de herramientas para la

medición y cartografía de estas redes de relaciones, en la medida que son la base material de la transferencia de información y conocimiento entre los actores.

En Sociología se han desarrollado un conjunto de técnicas de análisis estándar que es posible aplicar con facilidad al estudio de forma de las relaciones que la interacción del sistema genera entre los actores de la I+D; un análisis que abra la puerta a la codificación y formalización de esas relaciones con algoritmos experimentados mas allá de la simple estimación de los resultados en términos distributivos. Como se ha dicho el análisis de redes sociales permite la representación formalizada de esas relaciones, a partir de algoritmos relativamente estandarizados que se han desarrollado a partir de un subconjunto de la teoría matemática de los grafos.

Así pues, el sistema de innovación, así como de producción y utilización del conocimiento es susceptible de estudiarse en términos de redes sociales y para ello es necesario suponer que la cooperación en el desarrollo de un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico promueve la formación de redes interorganizativas.

### **3. La construcción de las bases de datos relacionales**

Una parte esencial del proceso previo a la aplicación del análisis de redes es la construcción de los datos. Para ello, con frecuencia, hay que transformar los disponibles a una forma relacional. Los elementos básicos que definen una red son esencialmente dos: los actores que establecen las relaciones entre sí y estas relaciones, los primeros son representados por puntos en la red o nodos y los segundo por líneas.

El análisis estructural y de redes se fundamenta, de modo práctico, en la creación y desarrollo de la matriz de relaciones y en la construcción del *grafo*. Cuando va a desarrollarse un análisis relacional, el material básico para el análisis es la construcción de la matriz que liga a los actores entre sí.

Ello, como es el caso que nos ocupa, se va a hacer a través de un tipo especial de matrices que representa las relaciones de los actores con determinados hechos y, a través de éstos, la relación con otros actores. A esta relación subordinada (no directa) se la denomina afiliación y a las redes que emergen se las llama redes de afiliación.

En el caso que nos ocupa la relación que nos interesa, a partir de la cual vamos a construir nuestro caso relacional, es la liga a dos actores en la participación en un proyecto conjunto de I+D. Podríamos decir que dos actores interaccionan porque se encuentran afiliados gracias a su participación conjunta en el proyecto de I+D. Por tanto, el criterio elegido para tender las líneas entre actores es la colaboración de los mismos en un proyecto de I+D, esto es, su afiliación a la red a través de ese proyecto. Por tanto, el grafo consiste en los nodos y las líneas, así como en otra información sobre los actores, tales como su nacionalidad. Además; en este caso, el grafo resultante

es un multigrafo, dado que dos actores pueden estar unidos por diferentes líneas derivadas de su posible adscripción a diferentes proyectos.

Como es natural pudiera ocurrir que no todos los actores que han participado en los proyectos singulares seleccionados estén relacionados, aunque sea a través de un número grande de intermediaciones llevadas a cabo por otras líneas y nodos, con todos los actores de la red. Esto es, el primer paso que habitualmente se lleva a cabo es la identificación de los componentes o elementos del grafo. Así puede hablarse de la existencia de diversos “componentes”, conjunto de actores relacionados entre sí a través de líneas. Ello es importante porque algunos de los indicadores se construyen como distancias geodésicas, o pasos que habría que recorrer entre dos nodos del grafo, por lo que si no están unidos por alguna intermediación menor que infinito la estimación no sería válida, el ejemplo es el concepto de “centralidad-proximidad”.

Para los ejemplos, utilizamos datos de proyectos financiados procedentes de las tres convocatorias de proyectos de I+D, bajo el programa de investigación socio-económica orientada (TSER-“*targeted socio-economic research program*”) correspondiente al IV Programa Marco de I+D de la Unión Europea (1994-1998). Los datos se han construido a partir de las listas publicadas de proyectos financiados por la Comisión Europea (EC, 1999) en las tres convocatorias existentes por áreas de investigación, en las que se indica el proyecto, los equipos participantes, el país del que son originarios, etc. El programa de Investigación Socioeconómica Orientada tenía como objetivo el avance del conocimiento de diversos campos de las ciencias sociales, (básicamente en el ámbito de las políticas educativas, los estudios relativos al estado del bienestar y las opciones de política científica y tecnológica). El programa contó con una financiación de más de 100 millones de euros (aproximadamente 100 millones de dólares). Se financiaron más de 150 proyectos de investigación que implicaban al menos equipos de dos países de la UE. Bien es verdad que el consorcio medio de la UE estaba compuesto por más de seis equipos y obtuvo una financiación de más de 600.000 euros para proyectos de investigación en Ciencias Sociales, cuya duración oscilaba entre 2 y 3 años.

El subconjunto de proyectos seleccionados corresponde al área denominada “opciones de política científica y tecnológica” cuyo objetivo esencial era el avance del conocimiento sobre los sistemas de I+D y de innovación, las conductas de sus actores, así como las políticas de I+D. Hemos seleccionado estas líneas porque representan una financiación muy significativa a nuestro propio campo de investigación: los estudios sociales, económicos y políticos de la ciencia, la tecnología y la innovación.

#### **4. El análisis de redes sociales (*network analysis*) como modelo subyacente para el estudio de los efectos estructurales o de las políticas**

Ya se ha dicho que el análisis de los sistemas de investigación e innovación (de su conducta o resultados) no puede hacerse ni como mera resultante de los atributos de los actores, ni como simple “agregación” de resultados



individuales. Se debe estudiar el comportamiento de los actores como producto de su participación en relaciones sociales estructuradas. Las redes sociales basadas en la interacción son mecanismos de comunicación e intercambio de información que crean estructuras de poder.

Del *social networks analysis* nos interesan especialmente las herramientas para el estudio de un conjunto de propiedades que se refieren a: 1) la estructura general de la red de relaciones propiciada por el programa y 2) a la posición que actores individuales, o grupos de ellos, ocupan en el conjunto de la estructura o con relación a otros actores.

De la estructura general de la red de relaciones nos interesa especialmente la reflexión sobre el **grado de integración o la cohesión** que la misma manifiesta. Para el análisis de estas propiedades se ha desarrollado un conjunto de categorías y procedimientos y algoritmos que nos dan información sobre la estructura que emerge del programa público: Componentes, densidad, unipolaridad, integración y centralización. Estos indicadores tienen la utilidad de servir sobre todo para el análisis comparativo de la cohesión relativa de diversas redes, por tanto apenas los usaremos en este caso.

Por otro lado, interesa también conocer **la posición que cada uno de los actores** alcanza en la estructura general. La idea es que este análisis general está más relacionado con el poder que con otra categoría sociológica. Los algoritmos que representan estas propiedades de la “centralidad” de los actores en la red son: Grado, proximidad o cercanía y mediación.

#### 4.1 Medidas generales de la estructura de la RED: densidad

La medida más sencilla que uno puede imaginarse para establecer las relaciones entre puntos y líneas es la densidad del grafo, que representa el número de vínculos que se establecen entre los nodos con relación a un número máximo que pudiera establecerse si todos los actores estuvieran conectados directamente por una línea con todos los demás.

[1] Densidad, es:  **$den = 2L / [n(n-1)]$** ,

donde L es el número de líneas y n el número de nodos.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta, como representación de las redes que se forman cuando se construye el grafo la identificación de los componentes en el grafo.

#### 4.2. Medidas de posición de un actor en el conjunto de la red: centralidad

Si las estructuras generales que el programa contribuye a crear se analizan con indicadores como componentes o la densidad, ahora se procederá al estudio de la posición de los actores en la red, de su centralidad relativa en la misma. ¿Cuál es el sentido del concepto de centralidad en el análisis de redes sociales? La idea de centralidad en la red tiene un cierto valor intuitivo, y su asociación se suele establecer con la influencia o la relevancia que tiene para el conjunto de la estructura en el flujo de información.

Para identificar la posición de los actores singulares en el conjunto de la red compleja de relaciones se debe establecer una distinción entre: centralidad local y centralidad global de los actores. Al medir la centralidad de un actor, no es lo mismo si decimos que éste tiene muchas conexiones directas con otros puntos en su entorno inmediato, que si decimos que el actor juega un papel clave en el conjunto de la red, por ejemplo siendo la conexión entre dos subgrupos de la misma. La primera aproximación, que se denomina centralidad local, se refiere a la relevancia de un determinado actor con relación a su entorno próximo con el que tiene lazos directos. Mientras que la segunda, denominada centralidad global, se refiere a la prominencia de un actor en relación con el conjunto de la red.

En todo caso, la noción de centralidad de los actores es un concepto multidimensional. Los conceptos más utilizados de centralidad (Freeman, 1979) pueden definirse y hacerse operativos al menos de tres formas: grado (*degree centrality*), proximidad o cercanía (*closeness centrality*) y mediación (*betweenness centrality*).

El **grado** se define como el número de otros actores a los cuales un actor está directamente unido o es adyacente. Esta medida de centralidad, la más sencilla, organiza a los actores por el número efectivo de sus relaciones directas en el conjunto de la red. Esta medida trata de la *centralidad local* de un actor con respecto a los actores cercanos, pero dice poco sobre la importancia del actor en la red completa, y es muy sensible a variables como el tamaño del *grafo* y, en el caso de nuestras redes de afiliación, al diverso número de participantes de los proyectos, por no mencionar el peso del propio actor. El **grado normalizado** es la proporción de relaciones reales sobre el total de relaciones posibles.

[2] El grado (de Freeman) de un actor sería,

$$CD(n_i) = \sum_j x_{ij}$$

La centralidad vista como **proximidad o cercanía** se refiere a la propiedad por la cual un actor puede tener relaciones con otros actores, pero a través de un pequeño número de pasos en la red. La medida de cercanía, así como su opuesta de lejanía, describe mejor esa *centralidad general* que se señalaba anteriormente. En este caso los actores son valorados por su distancia medida en pasos, por otros vértices o nodos, a todos los demás actores de la red. Son tanto más centrales cuanto mayor es el valor de su valor de cercanía, esto es, menor es el número de pasos que a través de la red deben dar para relacionarse con el resto.

Dependiendo del contexto, y como señalan Borgatti *et al.* (1996), la cercanía mide la independencia o autonomía respecto de los otros y puede servir, junto con la mediación, para precisar o matizar la relevancia del valor del grado, ya que se refiere al punto en el que actor está próximo a todos los demás.

[3] El índice relativo de la centralidad-proximidad (Beauchamp) de un punto RC(i), para el punto i es  $RC(i) = (n-1) / D_{i+}$ , donde  $D_{i+}$  es la suma de

las distancias desde  $i$  a todos los demás puntos, que puede ser representado como la suma de las filas  $i$  de la matriz de distancias  $D$ ,

$$D_{i+} = \sum_{j=1}^n D_{ij}$$

De este modo el índice es mayor cuando aumenta la centralidad-proximidad.

La centralidad vista como **mediación** define como el nivel en que otros actores deben pasar a través de un actor focal para comunicarse con el resto de los actores. La mediación sintetiza, por su parte, el control por cada uno de los actores tiene de los flujos relacionales en el conjunto de la red. El valor de la mediación para un actor mide la proporción de las geodésicas, los caminos más cortos entre dos actores cualesquiera del *grafo*, que pasan por él como vértice. Suelen tener valores altos de mediación los actores más centrales de la red según su cercanía, o aquellos que vinculan subgrupos o *bloques* diferentes (y que son los *puntos de corte* entre ellos).

Según Freeman, Borgatti y White (1991) mediación se refiere al hecho de que unos actores están entre otros, en sus vías de comunicación; los actores centrales, desde este punto de vista, serían los intermediarios del acceso de otros a la información y el conocimiento. Una combinación de valores altos de mediación y cercanía sugiere actores muy importantes en el conjunto de la red.

[4] El valor de la centralidad-mediación, para todos los puntos no ordenados,  $i, j, k$ , donde  $i < j$ ,  $n$  es el número de nodos de la red y  $g_{ij}(k)$  es el número de geodésicas (caminos más cortos) entre  $i$  y  $j$ , que pasan por  $k$ , se representa como:

$$C_B(K) = [2 \sum_i \sum_j (g_{ij}(k)/g_{ij})] / [n^2 - 3n + 2],$$

Por tanto si  $k$  está en el camino más corto del par  $(i, j)$ ,  $K$  tiene alta centralidad-mediación.

## 5. Indicadores de la gestión de los programas de I+D: ¿cómo medir los efectos estructurantes de las políticas sobre los actores?

En esta sección, utilizando datos sobre los proyectos de investigación del programa TSER, se van a presentar diversas formas de construir indicadores de gestión de los programas de I+D. Primero se describirá cómo se presentan habitualmente los resultados de los programas de I+D y, dando un paso más, se entra en las nuevas perspectivas que se obtienen a través de la utilización algoritmos simples del análisis de redes para describir los efectos estructurantes de los programas sobre el sistema. El objetivo de esta sección es presentar algunas imágenes que pueden ofrecer los indicadores relacionales contruidos a partir del análisis de redes, con relación a los datos

que tradicionalmente se utilizan para describir los resultados de las convocatorias de proyectos de I+D.

Se trata, por tanto, de comparar qué información nos ofrecen los indicadores que tradicionalmente utilizan los funcionarios de la Comisión Europea cuando explican los resultados de las convocatorias, que tienen una aproximación basado en los actores singulares, con esos que contextualizan la información y la sitúan en términos relacionales. Por razones de claridad, el análisis lo vamos a desarrollar en dos niveles distintos, en el nivel agregado de los países y en el nivel de los equipos de investigación financiados.

El análisis tradicional de los resultados de las convocatorias y, por tanto, de los efectos que sobre el sistema de investigación, en el campo de las opciones de política científica y tecnológica, tiene la financiación suele tomar una aproximación distributiva a los indicadores; tanto si se analiza, por ejemplo en el nivel de “país”, como si se analiza en el nivel individual de los equipos de investigación participantes.

Así pues, en primer lugar vamos a presentar dos modalidades habituales de análisis de los resultados de las políticas. Estas son formas basadas en el análisis individualista o atomístico de los efectos del programa, entroncando con la tradición de análisis de los efectos distributivos de los programas de la I+D, típicamente vinculado a la Ciencia Política. Con los análisis centrados en la idea de la distribución de los beneficios en este tipo de programas colaborativos de I+D se pierde completamente el efecto estructurante de las relaciones de interacción entre los actores, efectos que se intentaran introducir en los últimos apartados de esta sección.

### 5.1. La relevancia de los países en el programa TSER

En primer lugar, se analiza la posición que cada país tiene en el contexto del programa analizado. La tabla 1 nos indica la relevancia relativa de cada país (como el agregado de los equipos que participan en los proyectos procedentes de ese país) en el programa TSER del IV programa Marco de I+D de la UE, en el área denominada “Opciones de política científica y tecnológica” (área 1).

En esta tabla se presentan los indicadores que habitualmente se consideran cuando se estudian estos programas de I+D, tales como el número total de equipos participantes de cada país, tanto en números absolutos como relativos al total, así como el número de participaciones de los nacionales de ese país en proyectos distintos.

Tabla 1. Numero de equipos de cada país en los proyectos financiados del programa TSER (área 1, opciones de política científica y tecnológica)				
PAIS	Nº de equipos financiados	% del total de equipos financiados	Presencia en proyectos	% de presencia en proyectos
Reino Unido	74	17,92	53	82,80
Francia	47	11,38	36	56,20
Holanda	43	10,41	37	57,81
Alemania	40	9,69	36	56,25
Italia	40	9,69	35	54,69

Tabla 1. Numero de equipos de cada país en los proyectos financiados del programa TSER (área 1, opciones de política científica y tecnológica)				
España	37	8,96	33	51,56
Dinamarca	20	4,84	17	26,56
Noruega	18	4,36	18	28,13
Suecia	17	4,12	17	26,56
Austria	13	3,15	13	20,31
Finlandia	13	3,15	13	20,31
Grecia	13	3,15	13	20,31
Portugal	13	3,15	13	20,31
Irlanda	10	2,42	10	15,63
Bélgica	6	1,45	6	9,38
Suiza	4	0,97	4	6,25
Hungría	1	0,24	1	1,56
Israel	1	0,24	1	1,56
Lituania	1	0,24	1	1,56
Polonia	1	0,24	1	1,56
Eslovenia	1	0,24	1	1,56
Total	413 participaciones	100,00	64 proyectos financiados	

La tabla 1 representar una forma tradicional de indicar el peso que los participantes de cada país, agregados, tienen en el conjunto de las actividades del Programa. Puede observarse una significativa relación del número total de participaciones con al tamaño de los países, con dos significativas desviaciones. Reino Unido muy por delante de todos los demás participantes y Holanda, que llama la atención con relación a su tamaño.

Es importante entender que los equipos procedentes del Reino Unido están en ocho de cada diez de los proyectos. Ningún otro país juega este papel estructurante en la formación de los equipos de investigación. Los otros cuatro países grandes, más Holanda, se encuentran participando entre el 51 y 56 % del total de los proyectos. Como se puede ver, en general la distribución responde al tamaño del país, con las dos matizaciones señaladas del Reino Unido y Holanda.

Si se tuviera que identificar la fortaleza del campo de investigación objeto de este análisis (los estudios socio-económicos de la ciencia y la tecnología) seguramente se tendría la apreciación *ex ante* del peso que ambos países, y singularmente sus centros de investigación, han jugado en el desarrollo cognitivo en este campo, tanto desde la economía como desde la sociología, como en el análisis de las políticas de ciencia y tecnología.

Este peso diferencial de los países puede también observarse en los que ocupan una posición intermedia, donde existe una cierta paridad distributiva entre los países pequeños, aunque respecto a su tamaño, tanto Noruega como Dinamarca ocupan un lugar destacado. En el sentido contrario hay que llamar la atención sobre el peso marginal de Bélgica. De nuevo la explicación de la mejor situación de los países está asociada a la existencia de centros de investigación con una cierta tradición en este campo, que han aprovechado la oportunidad que la financiación ofrece.

En el análisis de los centros podremos observar cómo el peso de los países está muy asociado al peso de algunos centros reconocidos de estos países en la investigación sobre asuntos de economía y sociología de la ciencia y la tecnología y política científica.

## 5.2. Los centros europeos de investigación en “política científica” en el programa TSER

Un analista tradicional, solamente preocupado por los efectos distributivos sobre las políticas públicas, pasaría a hacer un estudio de detalle de los centros de investigación implicados en esas participaciones, por medio de un recuento similar al anterior, pero identificando las instituciones singulares.

En este tipo de análisis tenemos una medida tradicional de la posición relativa que los actores han alcanzado en el juego distributivo, vista como el resultado del número de participaciones

En este programa TSER (área 1- Opciones de política científica y tecnológica), se han financiado un total de 64 proyectos de investigación con un total 413 participaciones, que corresponden a 221 equipos distintos. En la tabla 2 se han recogido solamente 41 centros de investigación, con 3 o más participaciones, a lo largo de los cuatro años de funcionamiento del programa.

	Institución	País	Nº de participaciones en proyectos financiados	% del total de participaciones en proyectos financiados	% del total de participaciones en proyectos financiados ACUMULADO	Participaciones, en %, sobre el total de proyectos financiados
1	SPRU, Univ. Sussex	Reino Unido	13	3,15	3,15	20,30
2	MERIT, Univ. Maastrich	Holanda	9	2,18	5,33	14,06
	PREST, Univ Manchester	Reino Unido	9	2,18	7,51	14,06
4	Univ. Twente	Holanda	8	1,94	9,44	12,50
5	STEP	Noruega	7	1,69	11,14	10,94
6	BETA, Univ. Estrasburgo	Francia	6	1,45	12,59	9,38
	Univ. Milan, Bocconi	Italia	6	1,45	14,04	9,38
	TNO	Holanda	6	1,45	15,50	9,38
	CSIC-IESA	España	6	1,45	16,95	9,38
10	IKE, Univ Aalborg	Dinamarca	5	1,21	18,16	7,81
	Univ. Técnica Dinamarca	Dinamarca	5	1,21	19,37	7,81
	FhG-ISI	Alemania	5	1,21	20,58	7,81
	Univ. Atenas	Grecia	5	1,21	21,79	7,81
	Univ. Carlos III Madrid	España	5	1,21	23,00	7,81
	Univ. Edimburgo	Reino Unido	5	1,21	24,21	7,81
	Univ. Tampere	Finlandia	5	1,21	25,42	7,81
	Univ. Linkoping	Suecia	5	1,21	26,63	7,81
	CNRS	Francia	4	1,21	27,60	6,25
19	Univ. Bremen	Alemania	4	0,97	28,57	6,25
	Univ. Urbino	Italia	4	0,97	29,54	6,25
	Univ. Oxford	Reino Unido	4	0,97	30,51	6,25
	Ec. Politec. Laussane	Suiza	3	0,73	31,23	4,69
	CSI- Ecole de Mines	Francia	3	0,73	31,96	4,69
	Univ. Bielefeld-IWT	Alemania	3	0,73	32,69	4,69

Tabla 2.- Instituciones participantes en los proyectos de I+D. Programa TSER (area 1,: opciones de política científica y tecnológica)						
	WZB	Alemania	3	0,73	33,41	4,69
	ZEW	Alemania	3	0,73	34,14	4,69
	Univ. Técnica Nacional	Grecia	3	0,73	34,87	4,69
	CNR-ISR	Italia	3	0,73	35,59	4,69
	Fond. Rosselli	Italia	3	0,73	36,32	4,69
	Univ. Roma “La Sapienza”	Italia	3	0,73	37,05	4,69
	Univ. Noruega Cienc y Tec	Noruega	3	0,73	37,77	4,69
	Univ. Libre Ámsterdam	Holanda	3	0,73	38,50	4,69
	Univ. Ámsterdam	Holanda	3	0,73	39,23	4,69
	Univ. Aveiro	Portugal	3	0,73	39,95	4,69
	Univ. Nuova Lisboa (UNL)	Portugal	3	0,73	40,68	4,69
	Univ. Pais Vasco	España	3	0,73	41,40	4,69
	Univ. Sevilla (IDR)	España	3	0,73	42,13	4,69
	VTT-Centro Inves. Tecni	Finlandia	3	0,73	42,86	4,69
	Trinity Colleague	Irlanda	3	0,73	43,58	4,69
	Univ. Gotenburgo	Suecia	3	0,73	44,31	4,69
41	Univ. Roskilde	Dinamarca	3	0,73	45,04	0,73

Globalmente se puede observar como el 18,5 % de los equipos participantes concentran más del 45 % de las participaciones. Al mismo tiempo, existen un colectivo muy significativo de instituciones que solamente han participado en un único proyecto financiado.

Pero también, de la lectura de este cuadro obtenemos un resultado que explica el fuerte peso de Reino Unido y Holanda. Los cuatro primeros centros, en cuanto a participación en el programa TSER (área 1) son de esos dos países. En primer lugar está SPRU, de la Universidad de Sussex, le siguen MERIT de la Universidad de Maastrich y PREST de la Universidad de Manchester. Sin duda, son los centros de mayor tamaño, tradición, peso e influencia en Europa en los estudios sobre ciencia y tecnología y su presencia en el programa TSER es a su vez explicada por esa fuerte historia, pero la financiación y la fortaleza de las redes que se construyen permite pensar que su posición pudiera ser reforzada gracias al programa.

Esta información permite analizar, en términos distributivos y de financiación, las participaciones relativas de los países y facilita la identificación de los centros más activos en este campo, sin embargo no nos permite ver los efectos y, sobre todo, medirlos a través de algoritmos formalizados de utilización estándar, que el programa TSER tiene o las estructuras organizadas, las redes de producción, interacción y transferencia de conocimiento que está facilitando con su financiación.

### 5.3. La co-ocurrencia de la colaboración entre países

Una primera forma de análisis relacional, que ha comenzado a llevarse a cabo recientemente, es el estudio de las matrices de colaboración entre los diversos países. El formato que habitualmente tienen no está basado en una formalización sustentada por la teoría de redes, pero nos introduce en un mapa de relaciones entre los diversos países. Tiene forma de matriz, y la matriz presenta la información sobre el número de colaboraciones que tiene cada uno de los países con el resto de ellos, de modo que se pueden visualizar la

relevancia de las colaboraciones y la diversa propensión a la colaboración entre ellos.

Por el sistema tradicional de recuentos podemos determinar de una forma aproximada el peso que un país tiene en el conjunto de las colaboraciones de otro, introduciendo de este modo el elemento relacional de primera generación. En la tabla 3 tenemos una representación de número total de lazos que establecen los equipos de cada país con los equipos del resto de los países. El número de lazos es la suma del número total de veces que dos nacionales de distintos países, tomados por pares coinciden, en los 64 proyectos. La diagonal de la matriz representa el número total de proyectos, sobre un máximo de 64, en los que hay al menos un equipo de esos nacionales. Por ejemplo en el caso de los españoles sería de 33.

Si ponemos estos datos en porcentajes verticales y horizontales, podemos tener la intensidad de la relación de cada país con el resto, tanto lo que éste significa para el primero, como lo que el segundo significa para los otros. Por ejemplo, puede verse cómo los equipos españoles coinciden con los británicos. En el 87,9% de los proyectos en que hay españoles hay también británicos, mientras que sólo en el 54,7 % de los proyectos participados por británicos hay también españoles. En general el Reino Unido es el primer socio en importancia de todos los demás países, con dos excepciones Austria e Irlanda cuyo primer socio en relevancia es Alemania. Obviamente el número de participaciones y el tamaño de los proyectos en los que cada país participa, inciden decisivamente en las probabilidades de establecer lazos con otros países.

De este modo se pueden observar patrones de asociación, o la relevancia que para cada uno de los países tiene la coparticipación con equipos de otros países. Con este tipo de análisis nos vamos adentrando en el estudio de los lazos y las relaciones, pero resulta muy primitivo y así se ponen en evidencia las ganancias que obtenemos de utilizar herramientas relacionales estándar para el análisis de los datos.

Así pues pasamos a describir las propiedades generales de la red generada por el programa TSER en términos del análisis de redes sociales:

#### 5.4. La posición de los centros en la red creada por el programa TSER

En esta fase del análisis entramos en el estudio de la posición de los actores en esa red, esto es de las posiciones de poder, de intermediación o de habilidad para transferir conocimientos a otros de los participantes.

En primer se construye la matriz rectangular que liga los 221 actores distintos con los 64 proyectos; se transforma en una matriz cuadrada que ya liga actores con actores y se calcula el número de líneas efectivo que une a los diversos actores, gracias a su presencia en los mismos proyectos, con otros actores.



**Tabla 3. La posición relativa y los lazos de colaboración a través de proyecto en los que participan miembros de dos países en el programa TSER**

	Austria	Bélgica	Dinamarca	Finlandia	Francia	Alemania	Grecia	Hungría	Irlanda	Israel	Italia	Lituania	Holanda	Noruega	Polonia	Portugal	Eslovaquia	España	Suecia	Suiza	Reino Unido	
Austria	<b>13</b>	2	4	6	7	11	3	1	3	0	5	0	9	3	1	5	0	6	2	0	9	<b>90</b>
Bélgica	2	<b>6</b>	2	3	3	4	1	1	2	0	5	0	3	1	1	4	0	3	1	1	6	<b>49</b>
Dinamarca	4	2	<b>17</b>	3	9	10	3	0	2	0	8	0	10	9	0	2	1	10	7	3	13	<b>113</b>
Finlandia	6	3	3	<b>13</b>	6	9	3	1	3	0	6	0	6	2	1	6	0	8	6	0	10	<b>92</b>
Francia	7	3	9	6	<b>36</b>	20	8	0	5	0	23	0	19	10	0	8	0	20	12	1	29	<b>216</b>
Alemania	11	4	10	9	20	<b>36</b>	9	1	8	0	18	0	23	8	1	7	1	17	10	3	31	<b>227</b>
Grecia	3	1	3	3	8	9	<b>13</b>	0	2	1	9	0	9	2	0	3	0	7	3	1	12	<b>89</b>
Hungría	1	1	0	1	0	1	0	<b>1</b>	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	<b>11</b>
Irlanda	3	2	2	3	5	8	2	0	<b>10</b>	0	5	0	4	4	0	2	0	6	2	1	7	<b>66</b>
Israel	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>4</b>
Italia	5	5	8	6	23	18	9	1	5	1	<b>35</b>	1	17	8	1	6	0	16	12	1	30	<b>208</b>
Lituania	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>	1	1	0	0	0	0	1	0	1	<b>6</b>
Holanda	9	3	10	6	19	23	9	1	4	0	17	1	<b>37</b>	11	1	8	0	21	8	3	32	<b>223</b>
Noruega	3	1	9	2	10	8	2	0	4	0	8	1	11	<b>18</b>	0	3	1	9	7	3	12	<b>112</b>
Polonia	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	<b>1</b>	1	0	1	0	0	1	<b>11</b>
Portugal	5	4	2	6	8	7	3	1	2	0	6	0	8	3	1	<b>13</b>	0	9	4	1	12	<b>95</b>
Eslovenia	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>	1	0	1	1	<b>7</b>
España	6	3	10	8	20	17	7	1	6	0	16	0	21	9	1	9	1	<b>33</b>	10	2	29	<b>209</b>
Suecia	2	1	7	6	12	10	3	0	2	0	12	1	8	7	0	4	0	10	<b>17</b>	0	14	<b>116</b>
Suiza	0	1	3	0	1	3	1	0	1	0	1	0	3	3	0	1	1	2	0	<b>4</b>	4	<b>29</b>
Reino Unido	9	6	13	10	29	31	12	1	7	1	30	1	32	12	1	12	1	29	14	4	<b>53</b>	<b>308</b>
	<b>90</b>	<b>49</b>	<b>113</b>	<b>91</b>	<b>216</b>	<b>227</b>	<b>89</b>	<b>11</b>	<b>66</b>	<b>4</b>	<b>208</b>	<b>6</b>	<b>223</b>	<b>112</b>	<b>11</b>	<b>95</b>	<b>7</b>	<b>209</b>	<b>116</b>	<b>29</b>	<b>308</b>	

Tabla 4.- Número de Proyectos según tamaño y número de líneas creadas					
Número de socios del proyecto (Tamaño)	Nº de proyectos, según tamaño	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Numero de vinculos (lineas) que se crean en cada proyecto $Lineas = [n*(n-1)] / 2$	Nº Total de líneas
2	1	.5	.5	1	1
3	5	3.6	4.1	3	15
4	11	10.7	14.8	6	66
5	7	8.5	23.2	10	70
6	10	14.5	37.8	15	150
7	11	18.6	56.4	21	231
8	6	11.6	68.0	28	168
9	4	8.7	76.8	36	144
10	4	9.7	86.4	45	180
11	4	10.7	97.1	55	220
12	1	2.9	100.0	66	66
Total	<b>64</b>	100.0			<b>1311</b>

Así pues se observa que los 64 proyectos, afiliaciones por medio de las cuales se establecen las relaciones entre los actores, que han implicado a un total de 221 actores distintos, y dados los tamaños de los proyectos, construyen una red que ha creado un total de 1311 líneas que unen a los pares de actores.

El número de componentes identificados en el grafo es de dos. El componente mayor incluye 217 actores conectados, mientras que el otro incluye solamente a 4. Este dato confirma que el grado de interacciones de estas instituciones investigadoras, todas ellas académicas, es alto.

Si se estima la densidad, para el componente mayor, se tiene que es de 5,56%, densidad alta comparada con otros programas de I+D dentro del mismo Programa Marco de I+D (véase Sanz Menéndez, Fernández, García, 1999).

A continuación se procede a aplicar a la matriz cuadrada de relaciones entre los actores el conjunto de algoritmos estándar correspondientes al análisis de centralidad de los actores. Para los cálculos se ha seguido y utilizado Bogartti, Everett y Freeman (1999).

En todo caso conviene, más allá de las definiciones operativas incluidas en la sección tercera, tener en cuenta la interpretación de cada uno de los conceptos que se van a aplicar. Así Freeman ha sugerido que: el **grado** representa el nivel de la actividad comunicativa (la capacidad de comunicar directamente con otros); la **proximidad** representa la independencia (la capacidad de llegar a muchos de los otros miembros de la red directamente, esto es sin apoyarse en intermediarios); mientras que la **mediación** representa el control de la comunicación de otros y su capacidad de restringirla.

Se puede decir que los estudios experimentales de redes parecen coincidir en que el grado y la mediación están asociados al poder de distribución; sin embargo, no parece encontrarse esa asociación con la proximidad. En análisis recientes (por ejemplo, Mizruchi y Potts, 1998) se señala que sólo en redes de

comunicación (tratadas como redes de intercambio) y en las que los efectos no representan un problema de suma cero la centralidad debiera afectar al poder. En nuestro caso las redes de afiliación a través de proyectos de colaboración en la I+D que estamos analizando pueden tratarse como una red de suma no cero.

En la tabla 5, que sigue a continuación, se expresa con mayor intensidad la posición relativa de los actores en la red, y se ofrecen los algoritmos estandarizados correspondientes al análisis de redes sociales.

**Tabla 5.- Medidas centralidad de los actores de I+D en la red creada por el programa TSER (area 1.- Opciones de política científica y tecnológica)**

Grado			Cercanía /proximidad(*)			Intermediación(*)		
Bruta			Bruta			Bruta		
Normaliza			Normaliza			Normaliza		
do			da			da		
UUS-SPRU	71	32,273	UUMA-PRE	418	51,675	UUS-SPRU	2655,684	11,437
UUMA-PRE	62	28,182	UUS-SPRU	442	48,869	NUTWENTE	2509,250	10,806
NUMAMERI	51	23,182	NUMAMERI	445	48,539	UUMA-PRE	2245,286	9,670
NUTWENTE	45	20,455	NUTWENTE	451	47,894	NUMAMERI	2057,927	8,863
NTNO	44	20,000	NTNO	454	47,577	VUTAMP	1940,918	8,359
FULPBETA	42	19,091	HUATHENS	457	47,265	UUSHEF	1863,000	8,023
MSTEP	42	19,091	FULPBETA	460	46,957	HUATHENS	1536,698	6,618
DAALBIKE	41	18,636	SCSIC-IE	460	46,957	ZULINKO	1527,574	6,579
GFHGISI	39	17,727	MSTEP	465	46,452	FCNRS	1373,771	5,916
HUATHENS	39	17,727	DAALBIKE	466	46,352	UUEDIN	1291,182	5,561
ZULINKO	37	16,818	GFHGISI	474	45,570	ZUGOTEB	1174,317	5,057
IUBOCCO	36	16,364	ZULINKO	477	45,283	NTNO	1155,167	4,975
SCSIC-IE	36	16,364	IUBOCCO	478	45,188	SUS-IDR	1137,682	4,900
VUTAMP	31	14,091	ZUGOTEB	483	44,720	PUNL	1121,690	4,831
FCNRS	29	13,182	VUTAMP	485	44,536	SUAM-IAD	925,334	3,985
SUC3M	29	13,182	IROSSEL	492	43,902	DAALBIKE	894,903	3,854
UUEDIN	29	13,182	PUNL	493	43,813	DRU	869,189	3,743
VVTT	28	12,727	SUS-IDR	495	43,636	MSTEP	867,324	3,735
PUNL	27	12,273	VVTT	496	43,548	GFKARLS	848,000	3,652
DTUD	26	11,818	UUEDIN	496	43,548	UUOXF	830,006	3,575
IUURBI	25	11,364	DRU	497	43,461	FULPBETA	742,134	3,196
GUBREM	24	10,909	FENSMCSI	499	43,287	SCSIC-IE	642,840	2,768
DRU	23	10,455	SUC3M	502	43,028	UUNEW	639,000	2,752
PUAVE	23	10,455	PUAVE	508	42,520	NUAMST	608,307	2,620
ZUGOTEB	23	10,455	AARCS	509	42,436	NUAMS-ES	564,023	2,429
FENSMCSI	22	10,000	GWZB	514	42,023	UUREAD	532,069	2,291
NUAMS-ES	22	10,000	IUROMSAP	518	41,699	YUTRINIT	521,165	2,244
SUPV	22	10,000	FCNRS	520	41,538	SUC3M	502,333	2,163
CUEPL	21	9,545	SUPF	521	41,459	IUROMSAP	472,606	2,035
UUOXF	21	9,545	GDIW	524	41,221	IUBOCCO	455,154	1,960

(\*) Los valores calculados para la cercanía e intermediación se refieren, no al grafo completo de 221 actores, sino al componente mayor de 217, dado que el cálculo correcto solamente puede realizarse con redes completas (componentes)

En el primer par de columnas se presenta el grado, esto es el número de vínculos directos que cada uno de los actores, con otros actores. El grado mide la intensidad comunicativa, y ésta dependen del número de proyectos en los que cada uno de los miembros participa y del número de socios que tiene cada uno. En condiciones de igual número de proyectos participados tendrá más grado quien más socios tenga en total. Aquí se cuentan todas las participaciones como válidas, incluso aunque se repitan con determinados actores, en el contexto de otros proyectos.

El grado se refiere al número absoluto de lazos o de vínculos que ese actor ha establecido con otros actores. Es en definitiva una forma de centralidad local, de fortaleza comunicativa con el entorno inmediato. Si se observa este valor y el ordenamiento de centros de investigación que produce se parece bastante al que se presentaba en la tabla 2, en el fondo el grado presenta propiedades distributivas.

En el segundo bloque se encuentran las columnas correspondientes a la localización de los centros en términos de su cercanía o proximidad a todos los demás, gracias al recorrido de las líneas que pueden identificarse a lo largo del camino de la red. El cálculo de la cercanía solamente puede hacerse para grafos completos o cerrados y, caso de no ser así, para sus componentes. En las dos columnas se ha hecho la estimación para los 217 actores que forman el componente mayor de este grafo, que como se ha dicho incluye casi al 98% de los actores

La cercanía o proximidad es expresión de la independencia relativa de los actores para acceder a cualquiera otro actor de la red, dado que representa una estimación de los pasos que cada uno de los actores deberá dar para llegar al resto de los actores.

El tercer indicador es el que representa la centralidad de los actores como intermediación y señala una medida de la posición de dependencia de los otros actores de la red con relación a éste para la circulación de la información al conjunto de la red.

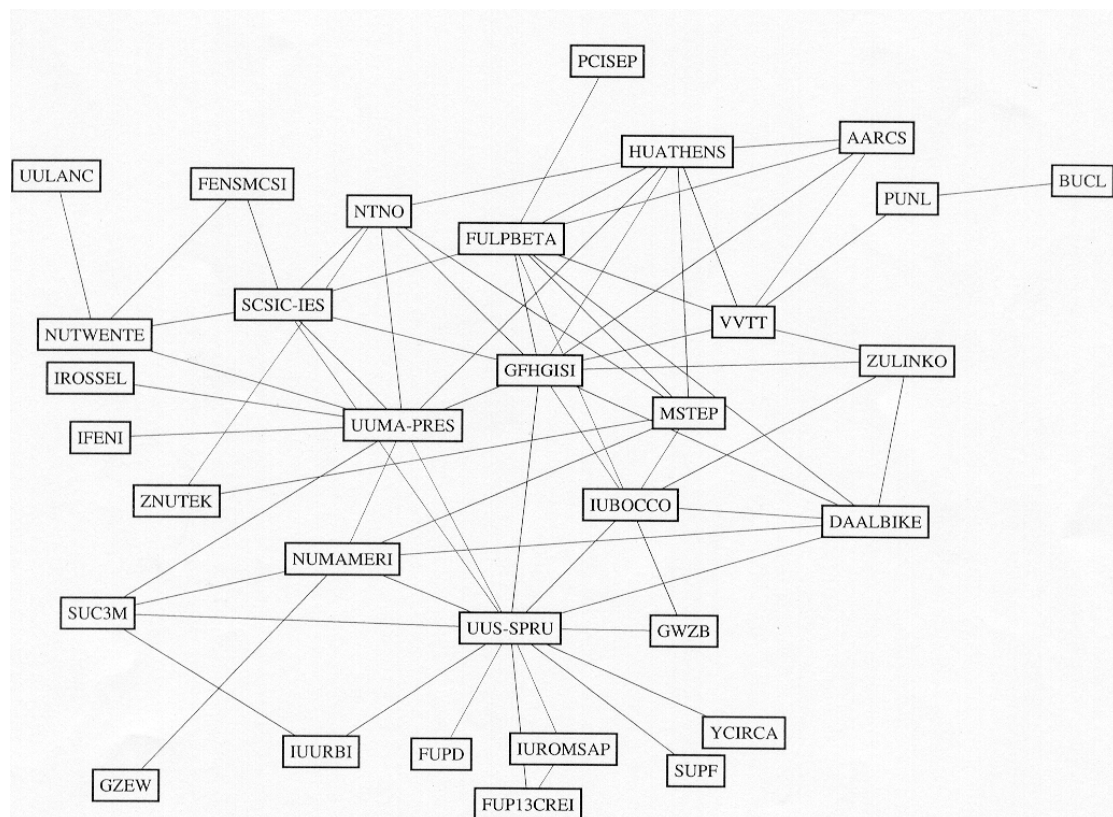
Si observamos los resultados y comparamos las tres medidas de centralidad podemos ver significativos cambios en el ordenamiento de los centros de investigación, y descubrir posiciones más centrales, según el criterio que se utilice, de los centros de investigación.

Aunque modifican ligeramente su ordenamiento hay que señalar la estabilidad de los 4 primeros centros de investigación (SPRU, PREST, MERIT y la Universidad de Twente) en los tres indicadores de medida. En posiciones más intermedias de la tabla podemos observar como una institución que no aparece en la columna de los primeros 30 por grado o cercanía, la Universidad de Sheffield, ocupa sin embargo el sexto lugar en la intermediación; sin duda esta institución es el camino de conexión obligado entre dos subconjuntos de la red. Una posición similar pero menos intensa la tienen, en estos términos de centralidad global, la Universidad de Tampere o la Gotemburgo.

A la inversa, instituciones con una fuerte centralidad local, media por el grado y con una alta independencia como TNO, BETA de la Universidad de Estrasburgo, o STEP caen más atrás en su rol de intermediación para el conjunto de la red. Se observa, por ejemplo, como grupos españoles o portugueses con significativa centralidad local y alta cercanía, pasan más atrás en los indicadores de intermediación.

Por último, para presentar las posibilidades que la generación de indicadores de la gestión de los programas de I+D presenta el análisis de redes se ha procedido a una representación realizada de la estructura de relaciones de la red que supone. Se han utilizado técnicas de escalado multidimensional para representar los centros y su posición relativa. Para simplificar se han seleccionado aquellos centros que tienen dos o más relaciones entre sí, de modo que puedan visualizarse con facilidad.

**Grafico 1. Red de actores principales en el programa TSER (área 1. opciones de política científica y tecnológica). Nivel 2, para destacar las relaciones**



## **6. Discusión, conclusiones e implicaciones**

El análisis basado en redes que se ha realizado aquí nos ha dejado señalados los niveles de centralidad de los actores. Se han utilizado la realización de proyectos de investigación conjunta como elementos para definir las relaciones que los actores establecen unos con otros. Sin embargo, ni son las únicas que se establecen entre los actores e incluso podrían no ser las más relevantes; a pesar de ello son de las que tenemos información sistemática a partir de los registros administrativos y se usan como un marco significativo y una forma de medir de la colaboración entre los diversos actores del sistema.

La colaboración en estos proyectos y la interacción a partir de ellos suele desarrollar vínculos que ya existían y, por tanto, refuerza los lazos. También puede ser la puerta para el desarrollo de nuevas relaciones que permiten la estructuración generativa de los procesos de interacción social. Por tanto, si los efectos pueden ser de refuerzo o generativos, podría determinarse cuales son los efectos que se deben esperar de cada programa.

Nuestro análisis sólo pretendía añadir nuevas formas de presentación de los resultados de la gestión de los programas de I+D. El análisis puede enriquecerse con la incorporación de otras variables que puedan explicar la ocurrencia o no ocurrencia de los lazos directos, así como la relación que tiene la centralidad con ciertas variables independientes.

Se podría avanzar más, describiendo la estructura y propiedades de la red que se ha formado, ello para compararla con otras redes o agrupamientos que sirven para organizar a los actores, o para comparar las tipologías más o menos cohesivas que este programa genera con relación a otros programas de I+D. Sin embargo, ya se ha dicho que por razones de espacio, en este trabajo se está utilizando solamente un programa y no se va a entrar en la descripción de la red más allá de las características generales que se especifican a través del número de componentes y la densidad.

¿Cuáles son las conclusiones de los análisis realizados y cuáles son las consecuencias de esta aproximación que hemos definido como análisis estructural y de redes?

Una de las conclusiones generales, aunque solamente se haya visto un programa, es que cada programa se caracteriza por la generación y emergencia de distintas redes de colaboración interorganizativa, de modo que estas diferencias habrán de tenerse en cuenta e incorporarse como una variable explicativa a la hora de evaluar los resultados comparados de tales programas.

Siendo una de las preocupaciones fundamentales del análisis social de las redes de cooperación interorganizativa el estudio de la centralidad de los actores, resulta conveniente destacar las principales conclusiones concretas, referidas al programa TSER, que de nuestro trabajo se derivan. La posición que ocupa una determinada organización en la red y el número de relaciones o vínculos que la misma mantiene condicionan el número de oportunidades que

la misma tiene para obtener información relevante para el desarrollo de sus propias actividades de investigación. Así, una primera lectura de las medidas de centralidad nos llevaría a considerar que aquellas organizaciones que ocupan posiciones más centrales, medidas en términos de grado y cercanía, como son los centros tradicionales de investigación, tales como SPRU, PREST, MERIT, etc tendrán más y mejor acceso a la información y al conocimiento que circula por la red.

Sin embargo, la centralidad no puede entenderse al margen de cuestiones tan relevantes como la coordinación e integración de los flujos de información y conocimientos a los que la organización tiene acceso. Resultaría, por tanto, erróneo atribuir directamente a las organizaciones centrales una capacidad superior para apropiarse de la información y conocimientos que circulan; sólo se ha establecido que comparativamente disfrutan de una posición mejor para capturar una parte importante de las externalidades de la red.

Para que esta posición pueda traducirse en beneficios o ventajas es necesario que la comunicación entre las distintas partes sea efectiva, lo que en nuestro caso equivale a considerar que las estructuras cognitivas de los distintos participantes experimenten un proceso de adaptación mutua, o en otras palabras, que la cooperación resulte en un proceso de aprendizaje colectivo. Desde esta perspectiva dinámica resulta importante destacar cómo la centralidad y la posición que ocupa una organización adquiere relevancia no tanto desde el punto de vista de la apropiación de la información existente y generada, sino también desde el punto de vista del aprendizaje acerca de las capacidades, recursos y tendencias de la investigación de otras organizaciones. En definitiva, las competencias y recursos disponibles por las organizaciones son el marco de explotación de las ventajas de la cooperación que emerge entre los actores de la investigación.

El papel de intermediación y difusión de información e innovaciones que corresponde a estas organizaciones, caracterizadas por su elevada centralidad, puede tener efectos duales, ya que en ocasiones pueden actuar como barrera importante limitando la difusión de la información.

Altos niveles de centralidad, por ejemplo en grado, de las organizaciones no garantizan por sí mismos una posición favorable en el conjunto de la red, particularmente cuando las redes que forman los programas se encuentran fragmentadas y, por tanto, sus actores separados en componentes, con bajos niveles de comunicación. No es el caso de TSER, pero en tales casos, la pertenencia a redes pequeñas y demasiado cerradas respecto a su entorno podría dificultar su capacidad de adaptación y absorción de la información del exterior para el subgrupo representado en el componente.

Redes más cohesivas, como TSER, con fuerte integración tendría mejores posibilidades de difundir el conocimiento e información que las redes en las que existe un alto grado de unipolaridad y fuerte centralización dónde el dominio de un pequeño conjunto de actores podría bloquear la circulación de la información. Por otro lado, estas redes cohesivas cuando desarrollan vínculos

fuertes, aún sirviendo para contrarrestar la incertidumbre ambiental, entran en el riesgo de perder las ventajas de los lazos débiles (Granovetter, 1973) que son la garantía de un flujo informativo variado, que se convierte en redundante si los contactos son siempre con los mismos actores.

Para nuestro análisis de la colaboración en la I+D subvencionada en el marco de políticas públicas, ¿cuál es el sentido de centralidad en términos del programa? Dado que el término centralidad refleja también cómo está distribuido el poder entre las organizaciones que participan en la red, para los gestores de las políticas y programas esta aproximación resulta útil, dado que una concentración excesiva de poder en alguna de las organizaciones o en un determinado tipo de organizaciones podría ser no deseable desde el punto de vista de la política pública. Si lo que se pretende es el crecimiento de la red en los países menos presentes, la existencia de altos niveles de centralidad en unos pocas organizaciones, cuando se dan altos niveles de centralización de la red, podrían ser resultados no deseables del programa.

En definitiva, explorar la topología, la configuración y las propiedades de las redes que emergen de la colaboración en la I+D ofrece argumentos nuevos y más variados sobre lo que ocurre en los programas de I+D subvencionada y sus consecuencias, al menos en cuanto respecta a los canales de difusión de los flujos de información y conocimiento, que coadyuvan al aprendizaje.

El análisis de las redes de colaboración permite igualmente analizar la evolución de las medidas tan significativas como la centralización de los actores y la centralización de los programas y, por tanto, analizar la permanencia o sustitución de las organizaciones en las distintas redes de colaboración tecnológica así como las variaciones en los grados de centralidad que experimentan en las distintas fases que acompañan al desarrollo del programa. Queda por desarrollar estudios que asocien las características de la estructura de la red con los resultados de la producción científica de los participantes en la misma.

## Referencias citadas

- ARROW, K, (1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resource for Invention", en AA.VV *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton Univeristy Press, Princeton, págs. 609-626
- BERKOWITZ, S. D. (1982), *An Introduction to Structural Analysis*, Butterworths, Toronto.
- BORGATTI, Steve P., EVERETT, Martin y FREEMAN, Lin (1996), *UCINET IV, versión 1.64 Reference Manual*. Analytic Technologies, Natick (MA),
- BORGATTI, Steve P.; EVERETT, Martin y FREEMAN, Lin (1999), *UCINET V for windows*, Analytic Technologies, Natick, (MA).



- CDTI (1998), "IV Programa Marco de I+D, 1994-1998", en *Perspectiva. Revista de Innovación Tecnológica*, año 2, nº 6, otoño, págs. 12-23.
- CICYT (1998), *Plan Nacional de I+D. Memoria de las Actividades del Plan Nacional de I+D en 1996*, CICYT, Madrid.
- DAVID, Paul y FORAY, Dominique (1995), "Accessing and Expanding the Science and Technology Knowledge Base", en *STI. Science, Technology and Industry*, nº 16, págs. 13-68.
- DEBRESSON, Chris y AMESSE, Fernand (1991), "Networks of innovators", en *Research Policy*, vol. 20, nº 5, octubre, págs. 363-379.
- EC-EUROPEAN COMMISSION(1995), *Green Paper on Innovation*, European Communities, Bruselas, COM(95) 688 (final), diciembre.
- EDQUIST, Charles, ed. (1997), *Systems of Innovation. Technologies, Institutions and Organisations*, Pinter, Londres.
- FREEMAN, Christopher (1987), *Technology Policy and Economic Performance*, Pinter, Londres.
- FREEMAN, C. (1991), "Networks of innovators: A synthesis of research issues", en *Research Policy*, vol. 20, nº 5, octubre, págs. 499-514.
- FREEMAN, Linton C. (1979), "Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification", en *Social Networks*, vol. 1, págs. 215-239.
- GEROSKI, Paul (1995), "Markets for Technology: Knowledge, Innovation and Appropriability", en STONEMAN, Paul, ed. (1995), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell, Oxford, págs. 90-131.
- GRANOVETTER, Mark. (1973), "The Strength of Weak Ties", *American Journal of Sociology*, vol. 78, págs. 1360-80.
- HAGEDOORN, John (1990), "Organisational Modes of Inter-firm Co-operation and Technology transfer", en *Technovation*, vol 10, págs. 17-30.
- KNOKE, David y KUKLINSKI, James H. (1982), *Network analysis*, Sage, Londres.
- LUNDVALL, Bengt-Ake, ed. (1992), *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter, Londres.
- MALERBA, Franco (1996), *Public Policy and Industrial Dynamics: an Evolutionary Perspective*, Proyecto ISE- TSER, mimeo.
- MIZRUCHI, Mark S. y POTTS, Blyden B. (1998), "Centrality and power revisited: actor success in group decision making", en *Social Networks*, vol 20, octubre, págs. 353-387.
- MOHNEN, Pierre (1996), "R&D Externalities and Productivity Growth", en *STI. Science, Technology and Industry*, nº 18, págs. 39-66.
- NELSON, Richard R. (1993), *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*, Oxford University Press, Nueva York.
- OECD (1996), *The Knowledge-based Economy*, OCDE, París.
- OECD (1997), *National Innovation Systems*, OCDE, París.

- PETERSON, John y SHARP, Margaret (1998), *Technology Policy in the European Union*, MacMillan, Londres.
- RODRIGUEZ, Josep A. (1995), *Análisis estructural y de redes*, Centro de Investigaciones Sociológicas, Madrid.
- SANZ MENENDEZ, Luis, Fernández, José R. y Garcia, Clara Eugenia (1999) "Centralidad y cohesión en las redes de colaboración empresarial en la I+D subsidiada", en *Papeles de Economía Española*, nº81, 1999, pages 219-241.
- SCHIENSTOCK, Gerd (1994), "Technology Policy in the Process of Change: Changing Paradigms in research and Technology Policy?", en AICHHOLZER, Georg y SCHIENSTOCK, Gerd , eds. (1994), *Technology Policy. Towards an Integration of Social and Ecological Concerns*, De Gruyter, Berlin, pages 1-23.
- SCOTT, John (1991), *Social network analysis. A handbook*, Sage, Londres.
- SMITH, Keith (1997), *Public R&D Policy, European Integration and European Innovation System*, ISE-TSER, mimeo.
- WASSERMAN, Stanley y FAUST, Katherine (1994), *Social network Analysis. Methods and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge.

---

<b>Anexo.- Tabla de acrónimos de los centros de investigación</b>		
AARCS	Centro de Invest Austria	Austria
CUEPL	Ec. Politec. Laussane	Suiza
DAALBIKE	IKE, Univ Aalborg	Dinamarca
DRU	Univ Roskilde	Dinamarca
DTUD	Univ. Técnica Dinamarca	Dinamarca
FCNRS	CNRS	Francia
FENSMCSI	CSI- Ecole de Mines	Francia
FULPBETA	BETA, Univ. Estrasburgo	Francia
GDIW	Instit. Investigac. Economic.	Alemania
GFHGISI	FhG-ISI	Alemania
GFKARLS	Centro Invest Karlsruhe	Alemania
GUBREM	Univ. Bremen	Alemania
GWZB	WZB	Alemania
HUATHENS	Univ. Atenas	Grecia
IROSSEL	Fond. Rosselli	Italia
IUBOCCO	Univ. Milan, Bocconi	Italia
IUROMSAP	Univ. Roma "La Sapienza"	Italia

<b>Anexo.- Tabla de acrónimos de los centros de investigación</b>		
IUURBI	Univ. Urbino	Italia
MSTEP	STEP	Noruega
NTNO	TNO	Holanda
NUAMS-ES	Univ Libre Ámsterdam	Holanda
NUAMST	Univ. Ámsterdam	Holanda
NUMAMERI	MERIT, Univ. Maastrich	Holanda
NUTWENTE	Univ. Twente	Holanda
PUAVE	Univ Aveiro	Portugal
PUNL	Univ Nuova Lisboa (UNL)	Portugal
SCSIC-IE	CSIC-IESA	España
SUAM-IAD	Univ Autónoma Madrid	España
SUC3M	Univ. Carlos III Madrid	España
SUPF	Univ Pompeu Fabra	España
SUPV	Univ Pais Vasco	España
SUS-IDR	Univ Sevilla (IDR)	España
UUEDIN	Univ. Edimburgo	Reino Unido
UUMA-PRE	PREST, Univ Manchester	Reino Unido
UUNEW	Univ Newcastle	Reino Unido
UUOXF	Univ. Oxford	Reino Unido
UUREAD	Univ. Reading	Reino Unido
UUS-SPRU	SPRU, Univ. Sussex	Reino Unido
VUTAMP	Univ. Tampere	Finlandia
VVTT	VTT-Centro Inves. Tecni	Finlandia
YUTRINIT	Trinity Colleague	Irlanda
ZUGOTEB	Univ Gotenburgo	Suecia
ZULINKO	Univ. Linkoping	Suecia